



ГНЦ ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский
институт метрологии имени Д.И.Менделеева»

Лаборатория госэталонов в области измерения массы и силы

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

А. Ф. Остривной, А. А. Лобашев

2016

Образцовая силоизмерительная машина ОСМ2-200-10

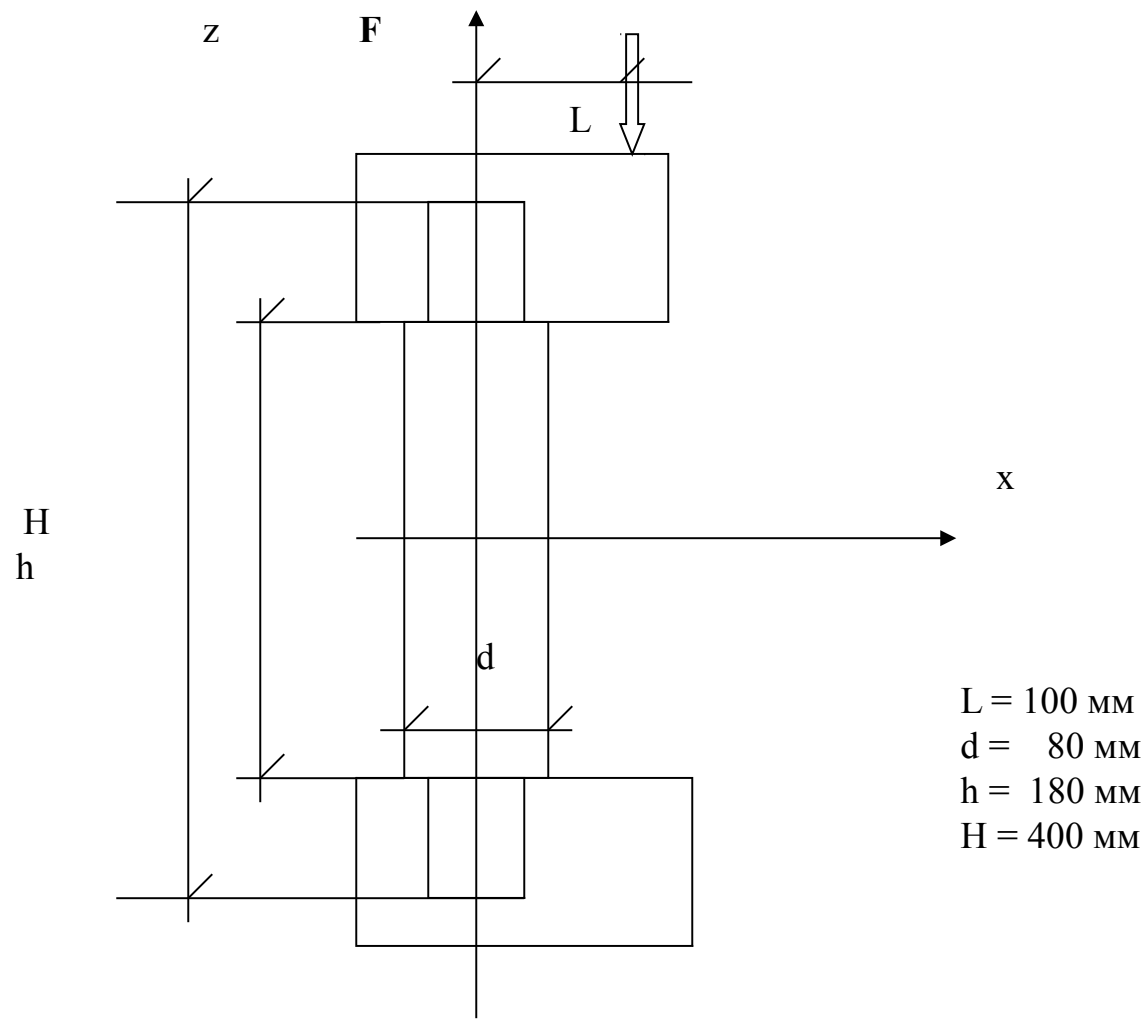


2010 год НИОКР

Разработка эталонной установки для
воспроизведения единицы механического
напряжения в диапазоне $\pm 200 \text{ Н/мм}^2$



Принципиальная схема установки воспроизведения единицы механического напряжения

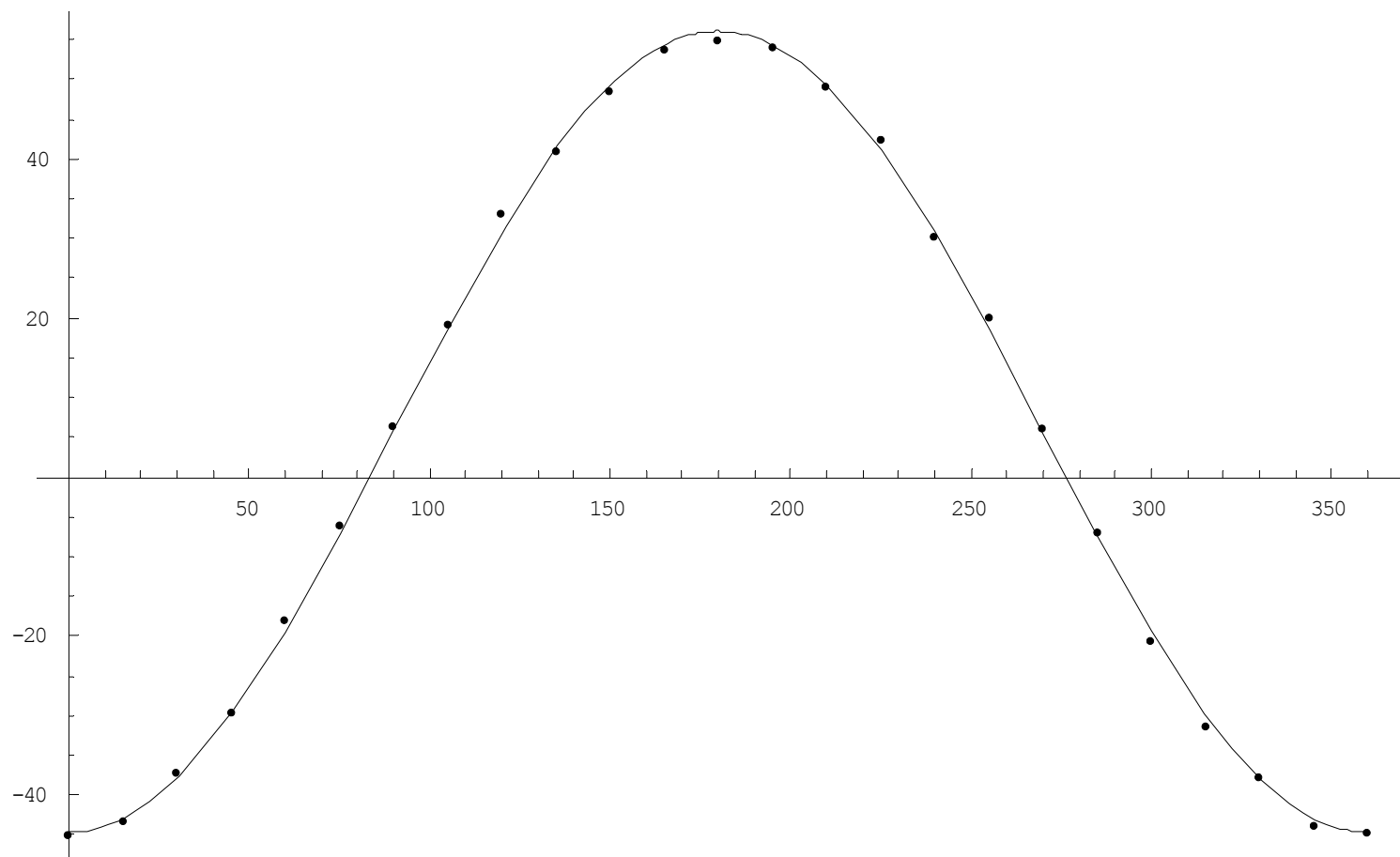


Тензор напряжений имеет только одну компоненту, которая меняется линейно в плоскости приложения силы

$$\sigma(x) = -\frac{F}{\pi R^2} \left(1 + \frac{4L}{R^2} x \right) = -\frac{F}{\pi R^2} \left(1 + \frac{4L}{R} \cos \varphi \right)$$

$$\cos \varphi = \frac{x}{R}$$

$$\lambda = \frac{4L}{R} = 10$$



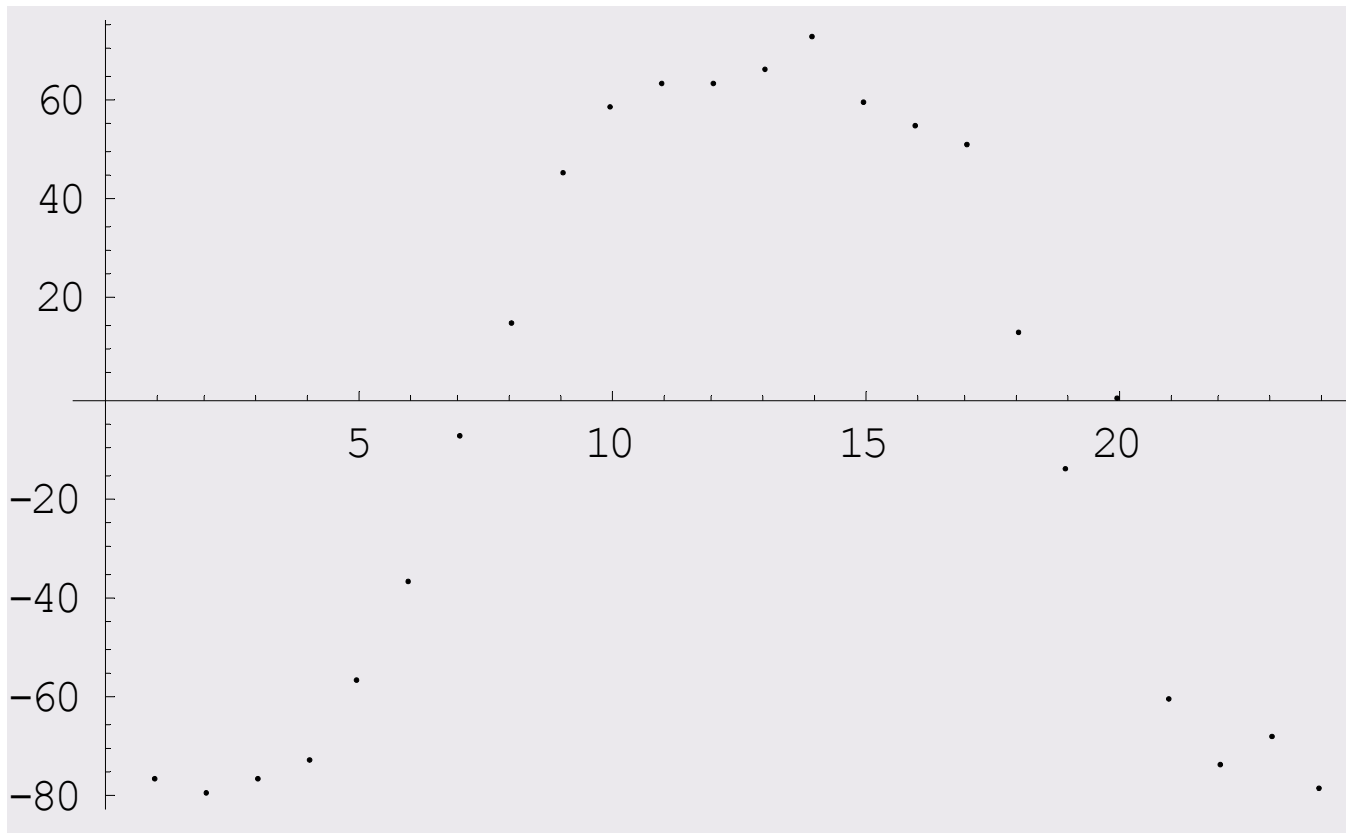
Корреляция

$$cor(f, \sigma) = \frac{\sum_{n=1}^N (f_n - \bar{f})(\sigma_n - \bar{\sigma})}{\sqrt{\sum_{n=1}^N (f_n - \bar{f})^2} \sqrt{\sum_{n=1}^N (\sigma_n - \bar{\sigma})^2}}$$

Величина корреляции показаний тензорезистора
и напряжения составила

$$cor(f, \sigma) = 0.9997$$





$$\text{cor}(f, \sigma) = 0.986 .$$

Парк калибруемых приборов был представлен следующим оборудованием:



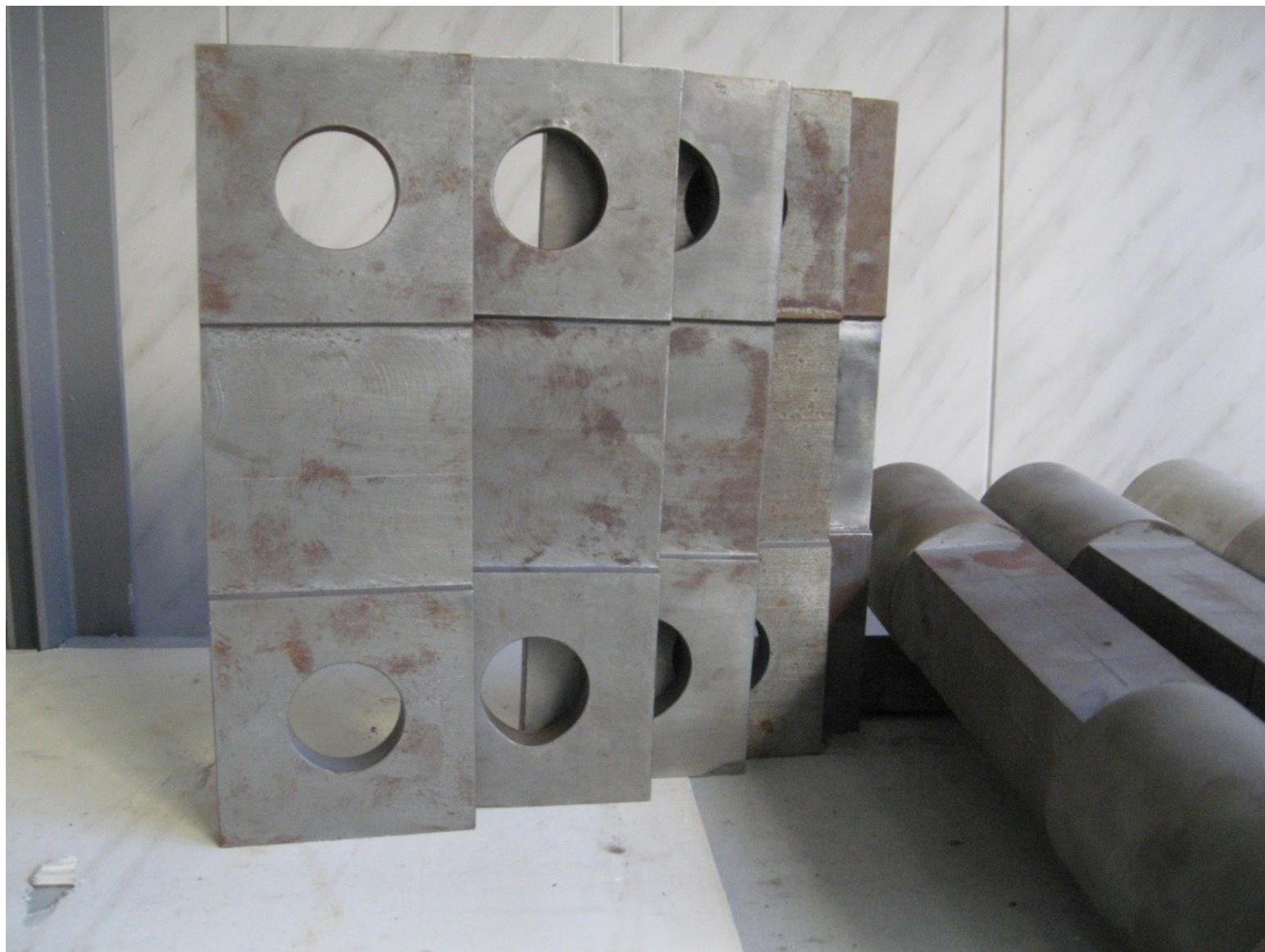
анализатор механических напряжений и структуры металлов «Интроскан-2»

измеритель напряжений «ИН-5101А»



магнито-анизотропный сканер дефектоскоп «Комплекс-2.05»





3. Измеритель напряжений ИН 5101 АБ

**Протокол № 3/РГИ-УЗК-2Б от 30.11.2013 г.
результатов градуировочных измерений**

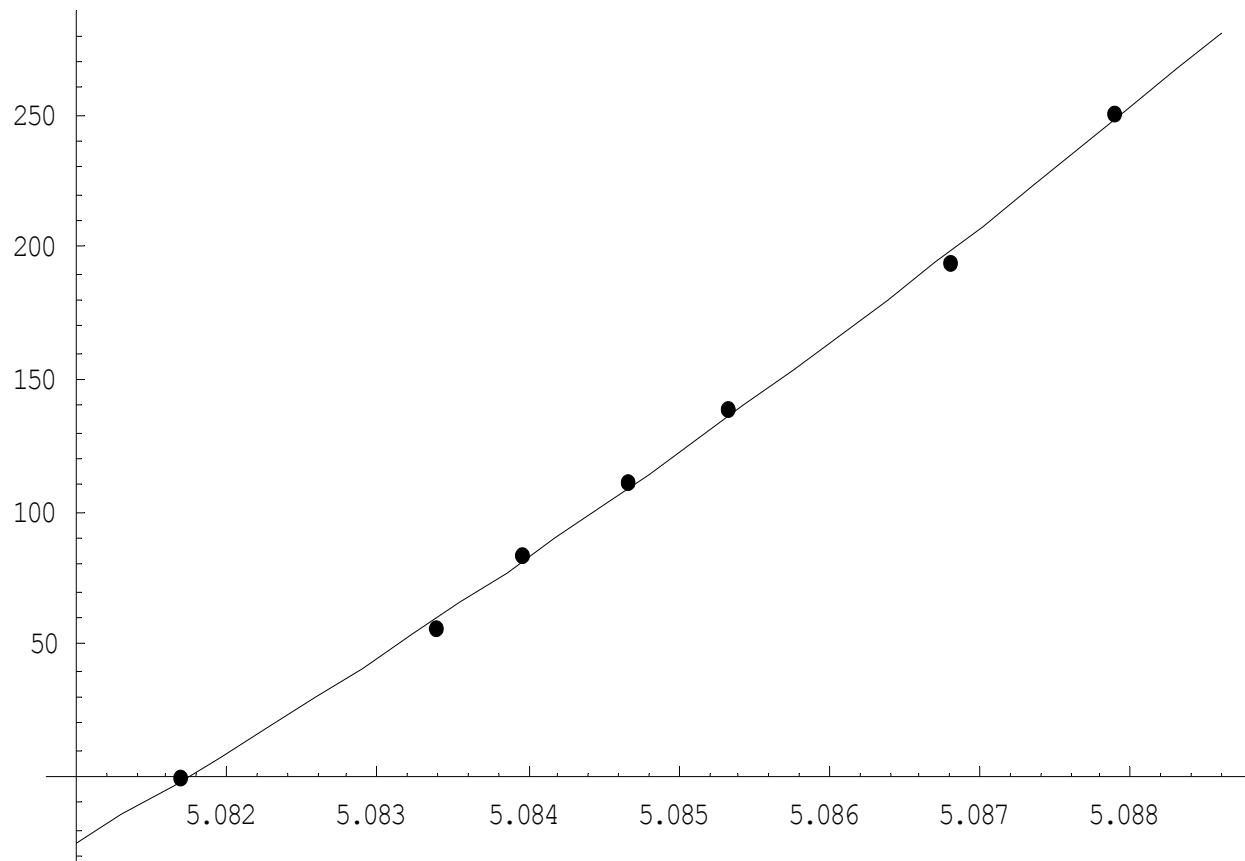
Средство измерений Измеритель напряжений ИН 5101 АБ

Заводской номер (052), датчик 032-10

Образец № 2Б из основного металла трубы Ø 1420,0 x 18,0 мм (ХТЗ, Украина)

Контактная смазка на образце 2Б – Sonotech SHEAR GEL, MAGNAFLUX

Измеряемые величины времена t1 t2 t3



<i>cor</i>
0.9982
0.9982

a_0	a_1	a_2	a_0	a_1	a_2	a_0	a_1	a_2
$2.469 \cdot 10^7$	$-9.751 \cdot 10^6$	$9.628 \cdot 10^5$	$2.469 \cdot 10^7$	$-9.751 \cdot 10^6$	$9.628 \cdot 10^5$	$2.469 \cdot 10^7$	$-9.751 \cdot 10^6$	$9.628 \cdot 10^5$
$2.469 \cdot 10^7$			$-9.751 \cdot 10^6$			$9.628 \cdot 10^5$		

R^2
0.9987
0.9987

$u(a_0)$	$u(a_1)$	$u(a_2)$	$u(a_0)$	$u(a_1)$	$u(a_2)$	$u(a_0)$	$u(a_1)$	$u(a_2)$
$9.402 \cdot 10^6$	$3.698 \cdot 10^6$	$3.636 \cdot 10^5$	$9.402 \cdot 10^6$	$3.698 \cdot 10^6$	$3.636 \cdot 10^5$	$9.402 \cdot 10^6$	$3.698 \cdot 10^6$	$3.636 \cdot 10^5$
$9.402 \cdot 10^6$			$3.698 \cdot 10^6$			$3.636 \cdot 10^5$		

u_c
6.82
6.82

Механическое напряжение

σ_{ik}

тензор второго ранга

симметричная матрица 3×3

имеет 6 независимых компонент

Давление P [Па]

давление — частный случай напряжения

$$\sigma_{ik} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot P$$

Давление P [Па]

давление – частный случай напряжения

$$\sigma_{ik} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot P$$

Для физической величины “давление” есть:

- Государственный первичный эталон.
- Несколько эталонных установок для воспроизведения единицы давления и передачи ее размера.
- Государственная поверочная схема.
- Во множестве Центров Стандартизации и Метрологии калибруются и поверяются многие тысячи манометров.

Давление P [Па]

давление – частный случай напряжения

$$\sigma_{ik} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot P$$

Для физической величины “давление” есть:

- Государственный первичный эталон.
- Несколько эталонных установок для воспроизведения единицы давления и передачи ее размера.
- Государственная поверочная схема.
- Во множестве Центров Стандартизации и Метрологии калибруются и поверяются многие тысячи манометров.

Физическая величина “механическое напряжение” метрологически не обеспечена.

Физическая величина есть, но измерить ее в настоящее время нельзя.

Межведомственное совещание

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ИЗМЕРЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКОГО НАПРЯЖЕНИЯ
В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

5 ноября 2015 года

Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии
Москва, Ленинский пр., 9

ООО «Газпром трансгаз Ухта»

Опыт и проблемы измерений механических напряжений в конструкционных элементах магистральных газопроводов.

АО "Завод №9"

Влияние остаточных внутренних напряжений на качество изготовления ствольных труб артиллерийских систем.

НИЦ "Курчатовский институт"

Нейтроннографические исследования остаточных напряжений в объемных материалах

Объединенный институт ядерных исследований

Сравнительный анализ измерения напряжений: нейтронография, магнитная анизотропия и другие методы.

Институт проблем машиностроения РАН

Основные проблемы применения "физических" способов определения напряженного состояния твердых тел. Некоторые решения методом акустоупругости.

МГУ имени М.В. Ломоносова

Измерение напряжений с использованием лазерных источников ультразвука.

РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина

Проблема соответствия результатов при измерении напряженного состояния методами, основанными на различных физических принципах.

ГНЦ ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»

Проблемы метрологического обеспечения механического напряжения. Пути решения.

Башкирский Государственный Университет

Перспективы использования новых методов снятия остаточных напряжений при изготовлении и монтаже сосудов и аппаратов.

ЗАО "НИИИИИ МНПО "Спектр"

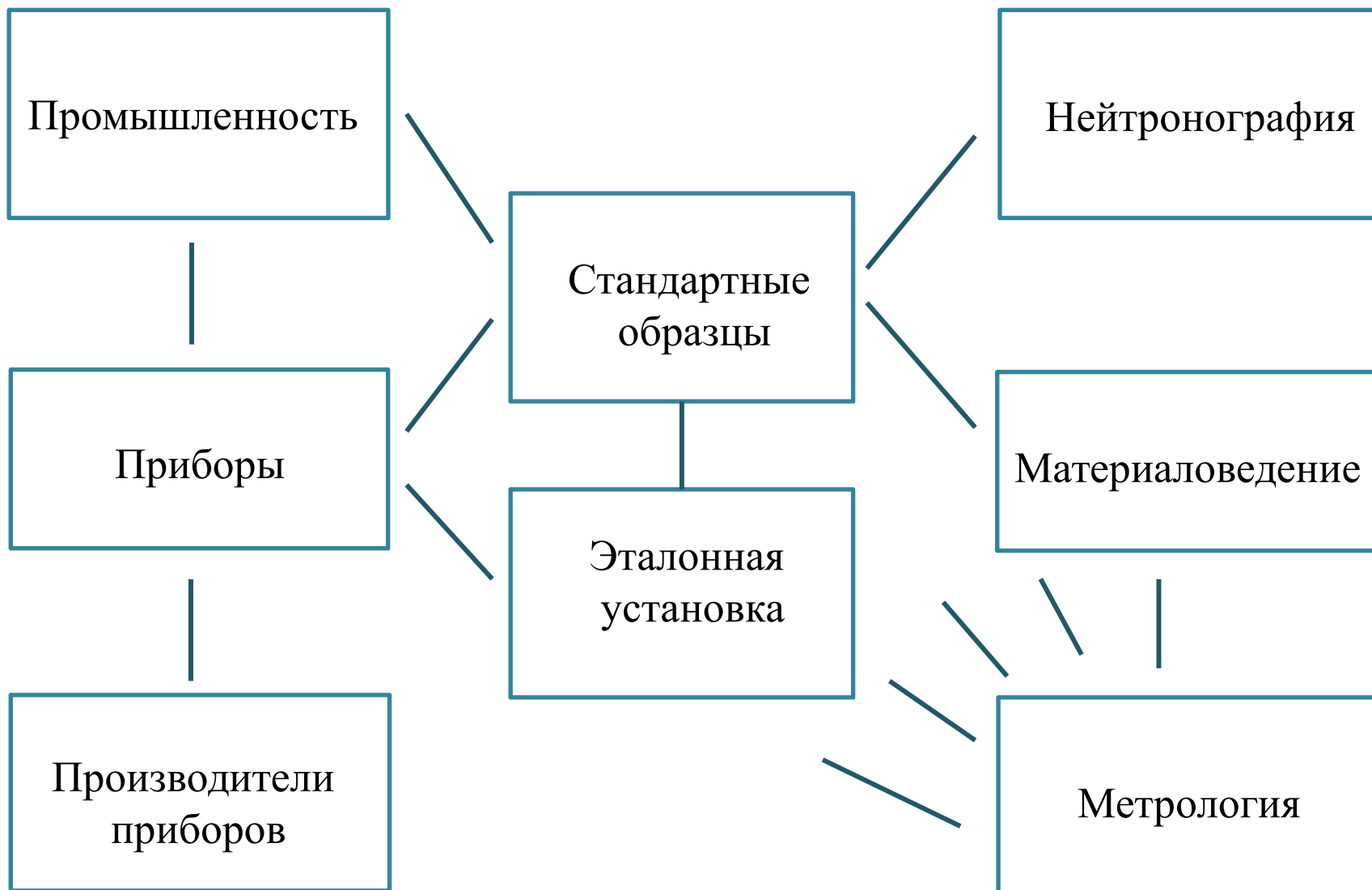
Применение метода магнитной структуроскопии для контроля напряженно-деформированного состояния и оценки остаточного ресурса.

ООО "Феррологика"

Проблема легитимности применения средств измерения механических напряжений.

ООО ИНКОТЕС

Метрологическое обеспечение нормирования основной характеристики прибора ИН-5101А - пределов и погрешности измерения механических напряжений.



ПУТИ РЕШЕНИЯ

Разработка и создание эталонной установки для воспроизведения механического напряжения σ_{ik} общего вида в стандартных образцах и для передачи размера единицы механического напряжения приборам неразрушающего контроля, основанным на разных физических эффектах.

Разработка и создание наборов стандартных образцов: стандартные образцы для эталонной установки без остаточных напряжений, стандартные образцы с заданным полем остаточных напряжений – растянутые, изогнутые, скрученные, ...

Сертификация стандартных образцов на:

- отсутствие остаточных напряжений или на заданные остаточные напряжения определенной величины методом нейтронографии,
- химический состав, марку стали, физико-химические свойства,
- обработку поверхности – фрезерование, токарная обработка, ...
- технология производства – прокат, ковка, закалка, ...

ПУТИ РЕШЕНИЯ

Разработка и апробирование методик измерения механического напряжения различными приборами.

Разработка, апробирование и утверждение методики калибровки приборов, предназначенных для измерения механического напряжения.

Разработка и утверждение ГОСТа в области измерения механического напряжения, который бы регламентировал все этапы, связанные с измерением механического напряжения, - от изготовления и сертификации стандартных образцов и калибровки приборов на эталонной установке до проведения измерений на промышленных объектах с определением неопределенностей результатов измерений.